АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.787.6

В.В. РУБАНОВ, Л.А. ЖУРАВЛЕВ, Ю.Н. ПОНОМАРЕВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАСТРОЙКИ АППАРАТУРЫ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМОМ ОБОРУДОВАНИИ

На основе использования модели сигнала рабочего хода оборудования, общих принципов настройки пороговых устройств, элементов теории множеств и математической логики сформулированы критерии и алгоритмы автоматизированной настройки аппаратуры ресурсных испытаний быстроизнашивающихся деталей переналаживаемого производственного оборудования.
Ключевые слова: *аппаратура ресурсных испытаний, переналаживаемое оборудование, рабочий и холостой ход, сигналы, критерии и алгоритмы настройки.*

Введение. В работах [1-4] представлена методология синтеза типовых структурных схем аппаратуры ресурсных испытаний быстроизнашивающихся деталей производственного оборудования, основанная на исполь-зовании элементов теории множеств и математической логики. Однако полученные результаты применимы лишь для непереналаживаемого производственного оборудования, выпускающего одну и ту же продукцию. Информация о состоянии оборудования, работающего по такой схеме, содержится во множестве физических величин К, изменяющих свое амплитудное или частотное значение за период работы оборудования $Т_{ац}$ по режиму рабочего хода В или по режиму холостого хода ПВ. Конкретными физическими величинами $К_i$ могут быть: виброускорения, сила тока приводного электродвигателя, давление в гидро- и пневмосетях, деформация и механическое напряжение несущих конструкций, перемещение узлов оборудования. Характерными являются случаи, когда максимальные амплитудные или частотные значения выбранной физической величины $К_i$ при рабочем ходе $В_i$ оборудования больше или равны (меньше) аналогичным значениям при холостом ходе $ПВ_i$:

$$К_i (В_i,Т_{ац}) > К_i (ПВ_i,Т_{ац}); \quad (1)$$

$$К_i (В_i,Т_{ац}) \le К_i (ПВ_i,Т_{ац}). \quad (2)$$

Для регистрации количества рабочих ходов используются устройства, преобразующие информацию о работе оборудования в сигнал совершения рабочего хода. Основными элементами такого устройства являются преобразователи физических величин $К_i$ в выходные параметры $У_i$ и пороговые устройства, формирующие сигнал о совершении рабочего хода.

Входными параметрами преобразователя служит рассмотренное множество физических величин $К_i$, а выходными параметрами – множество $У_i$, элементами которого могут быть ток, напряжение, перемещение. Выходные параметры преобразователей описываются выражениями:

$$У_i\ (В_i,\ К_i,\ Т_{ац}) \text{ – для рабочего хода;} \quad (3)$$

$$У_i\ (ПВ_i,\ К_i,\ Т_{ац}) \text{ – для холостого хода.} \quad (4)$$

Функциональная связь между входом и выходом порогового устрой-ства определяется релейной характеристикой:

$$\varphi(\ У_i\ ) = \operatorname{sign}\ [У_i\ (В_i,\ К_i,\ Т_{ац}) - У_{in}] = А\ , \quad (5)$$

где А – сигнал или результат решения пороговой функции, имеющей числовые значения (мощность) - mes ($\mathrm{B_i} \to$ А) = {1,0}.

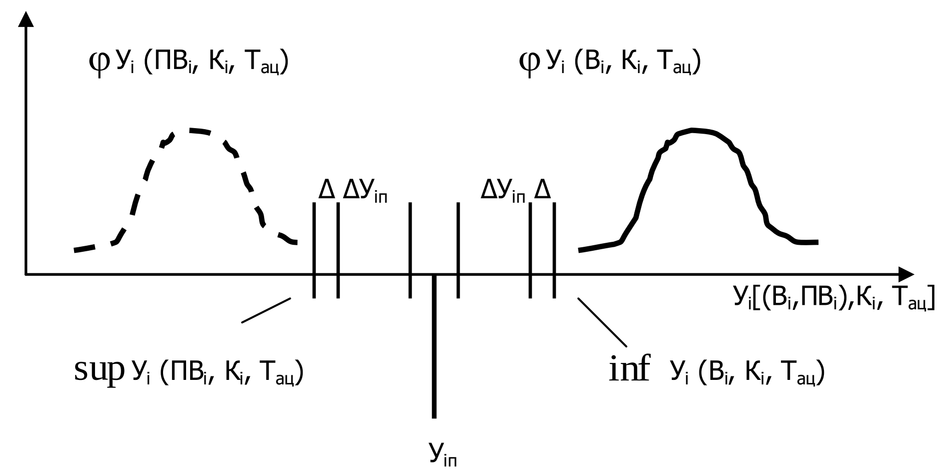


Рис. 1. Непересекающиеся распределения плотностей вероятностей выходного параметра $У_i$ под действием факта совершения рабочего хода оборудования $В_i$ и псевдофакта $ПВ_i$

Пороговое устройство выступает инструментом распознавания рабочего хода оборудования и поэтому должно обеспечить выполнение условия по рис. 1:

$$[\inf\ У_i\ (В_i,\ К_i,\ Т_{ац}) - \Delta - \Delta У_{in}] > [\sup У_i\ (ПВ_i,\ К_i,\ Т_{ац}) + \Delta + \Delta У_{in}]\ , (6)$$

где $\inf\ У_i\ (В_i,\ К_i,\ Т_{ац})$ – практически точная нижняя граница выходного параметра $У_i$, полученного от преобразования физической величины $К_i$, характеризующей рабочий ход $В_i$ за период работы оборудования $Т_{ац}$; $\sup У_i\ (ПВ_i,\ К_i,\ Т_{ац})$ – практически точная верхняя граница выходного параметра $У_i$, полученного от преобразования физической величины $К_i$, характеризующей холостой ход $ПВ_i$ за период работы оборудования $Т_{ац}$; Δ – погрешность пре-

образователя; $\Delta У_{iп}$ – нестабильность порога; $У_{iп}$ – пороговое значение выходного параметра $У_{iп}$.

Из условия (6) получен критерий – показатель распознавания λ ($В_i$ / $ПВ_i$).

$$\lambda\,(В_i / ПВ_i) = \frac{\inf У_i(В_i, К_i, Т_{ац}) - \Delta - \Delta У_{iп}}{\sup У_i(ПВ_i, К_i, Т_{ац}) + \Delta + \Delta У_{iп}} \quad . \qquad (7)$$

По числовому значению критерия – показателя распознавания можно судить о характере распознавания: практически достоверном при

$$\lambda\,(В_i / ПВ_i) \geq 1, \qquad (8)$$

или вероятностном при

$$\lambda\,(В_i / ПВ_i) < 1\ . \qquad (9)$$

Пороговое значение $У_{iп}$ вычисляется по уравнению

$$У_{iп} = \frac{1}{2}\,[\lambda\,(В_i / ПВ_i) + 1]*\,[\sup У_i\,(ПВ_i, К_i, Т_{ац}) + \Delta + \Delta У_{iп}]. \qquad (10)$$

Однако в производственных условиях на одном и том же оборудовании возможна обработка разных деталей, когда после изготовления партии деталей одного наименования $В_i$ осуществляется переналадка оборудования на выпуск партии деталей другого наименования $В_{i+1}$. В зависимости от партионности деталей такие переналадки осуществляются с разной частотой. Например, анализ работы прессов на ряде машиностроительных предприятий показывает, что в течение суток может осуществляться 5–6 переналадок каждого пресса, что требует соответствующих настроек и регулировок аппаратуры, регистрации рабочих ходов оборудования. Однако такая настройка у квалифицированного наладчика дополнительно отнимает 12 – 15 минут за счет необходимости многократного осуществления рабочих $В_i$ и холостых $ПВ_i$ ходов оборудования для выявления и установки искомого порогового значения выходного параметра.

Вследствие этого вопросы автоматизации настройки аппаратуры ресурсных испытаний на переналаживаемом оборудовании приобретают практический интерес.

Постановка задачи. Разработать критерии и алгоритмы автоматизированной настройки пороговых значений аппаратуры регистрации рабочих ходов переналаживаемого оборудования для изготовления продукции разного наименования при эксплуатационных испытаниях быстроизнашивающихся деталей.

Метод решения. Основан на использовании общего алгоритма [5], состоящего в проверке параметров системы по специальному критерию и в изменении этих параметров по результатам проверки. Включает также этапы определения статистических свойств рабочих и холостых ходов оборудования; выделение одномерных множеств частных плотностей распределения вероятности значения выходного параметра $У_i$ при совершении рабочего $В_i$ и холостого $ПВ_i$ ходов оборудования

при изготовлении партий деталей разного наименования; ранжирование этих одномерных множеств и вычисление значений показателя распознавания рабочего хода для всей совокупности наименований изготавливаемых деталей, выбор таких контролируемых физических величин $К_i$, которые обеспечивают практически достоверное распознавание рабочих ходов по условию (8).

В рассматриваемой генеральной последовательности совершаемых рабочих и холостых ходов оборудования присутствуют все множество наименований изготавливаемых деталей:

$$(В, ПВ) = \{(В_1, ПВ_1) ,..., (В_i, ПВ_i) ,..., (В_м, ПВ_м)\} = \bigcup_{i=1}^{m} (В_i, ПВ_i) . \qquad (11)$$

Известна вероятность появления каждого наименования:

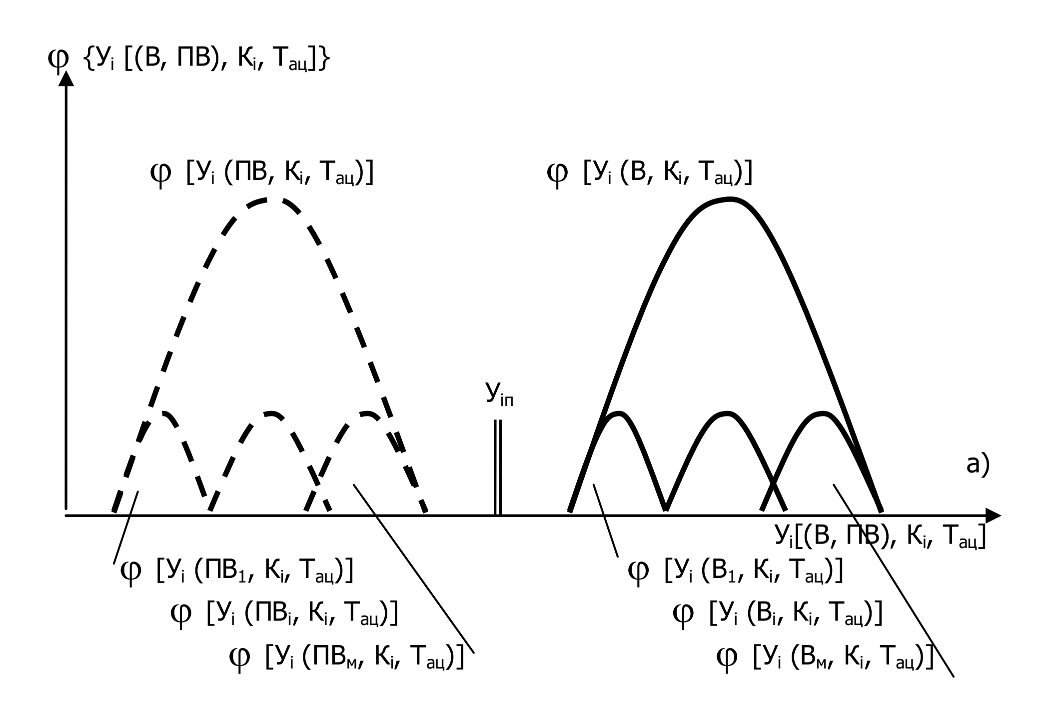
$$\sum_{i=1}^{m} P_{B_i} = P_{B_1} + ... + P_{B_i} + ... + P_m = 1, \quad P_{B_i} > 0. \qquad (12)$$

Рабочие и холостые ходы оборудования совершаются в дискретные моменты времени t_i, т.е. являются случайными независимыми событиями. При этом известны частные распределения значений выходного параметра под действием рабочих и холостых ходов оборудования при изготовлении деталей всех наименований. Из этой системы частных распределений можно выделить одномерные множества частных плотностей распределения вероятности значений выходного параметра преобразователя под действием рабочих и холостых ходов при изготовлении всего множества наименований деталей, обеспечивающие практически достоверное распознавание рабочего хода:

$$\varphi \{У_i [(В, ПВ), К_i, Т_{ац}]\} = \{ \varphi [У_i(В_1, К_i, Т_{ац})], ... \varphi [У_1(ПВ_1, К_i, Т_{ац})],...$$
$$... \varphi [У_i(В_i, К_i, Т_{ац})], ... \varphi [У_i(ПВ_i, К_i, Т_{ац})], ... \varphi [У_i(В_м, К_i, Т_{ац})], ...$$
$$... \varphi [У_i(ПВ_м, К_i, Т_{ац})] \}. \qquad (13)$$

Возможны два случая взаимного расположения частных распределений $\varphi [У_i(В, К_i, Т_{ац})]$ и $\varphi [У_i(ПВ, К_i, Т_{ац})]$, относящихся ко всей совокупности наименований изготавливаемых деталей (рабочих ходов) В и псевдофактов (холостых ходов) ПВ: непересекающиеся распределения (рис. 2,а) и пересекающиеся распределения (рис.2,б).

Случай непересекающихся распределений (см. рис.2,а) для перенала-живаемого оборудования, по существу, аналогичен условиям непересекаю-щихся распределений (см. рис.1) для непереналаживаемого оборудования и не требует изменений пороговых значений выходного параметра $У_{in}$ преобразователя при изменениях наименования изготавливаемых деталей.



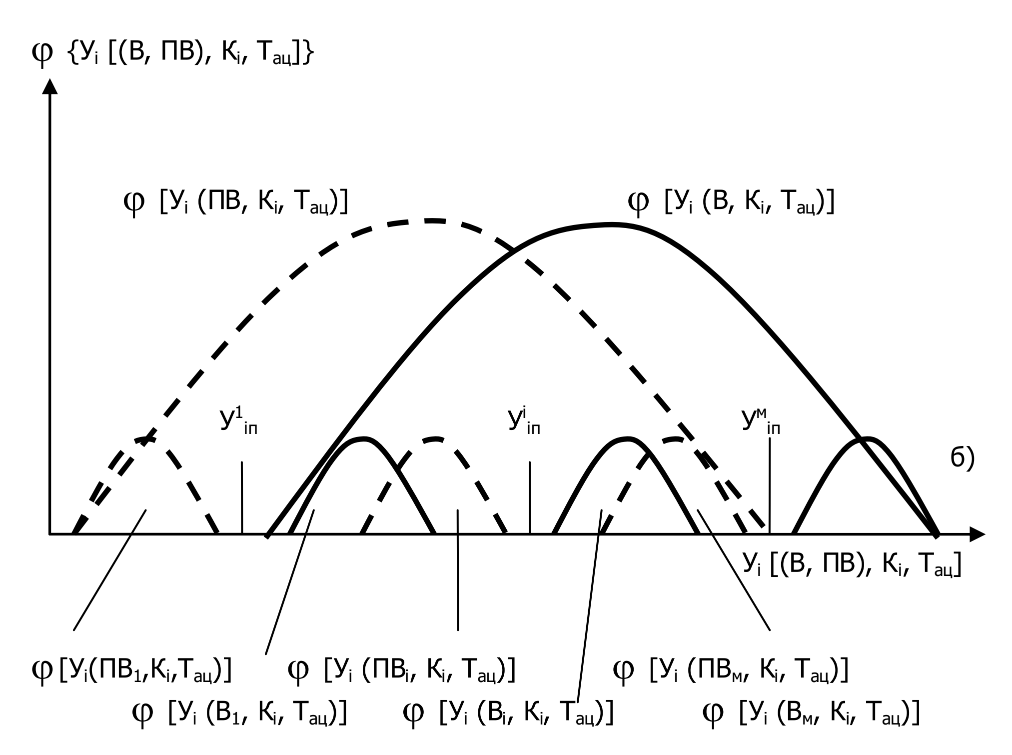


Рис. 2. Характерные случаи распределения плотностей вероятностей значений выходного параметра У преобразователя при рабочем В и холостом ПВ ходах оборудования при изготовлении деталей разных наименований: а – непересекающиеся распределения; б – пересекающиеся распределения

В случае пересекающихся распределений (см. рис.2,б) изменение наименований изготавливаемых деталей требует как настройки самого оборудования, так и настройки порогового устройства (поиска необходимого порогового значения).

В производственных условиях практическим критерием правильности ручной настройки порогового значения является появление сигнала А при совершении рабочего хода оборудования при изготовлении изделия:
$\mathrm{mes}\,(\text{В}_i \to \text{А}) = 1$ и отсутствие сигнала А при холостом ходе оборудования $\mathrm{mes}\,(\text{ПВ}_i \to \text{А}) = 0$.

Поэтому критерий настройки порогового значения преобразователя может быть выражен условиями:

$$\left.\begin{aligned} &\text{А}=\mathrm{sign}\,[\text{У}_i\,(\text{В}_i, \text{К}_i, \text{Т}_{\text{ац}})-\text{У}_{i\text{п}}];\ \ \text{У}_i\,(\text{В}_i, \text{К}_i, \text{Т}_{\text{ац}})>\text{У}_{i\text{п}};\ \ \mathrm{mes}\,(\text{В}_i \to \text{А})=1; \\ &\text{А}=\mathrm{sign}\,[\text{У}_i\,(\text{ПВ}_i, \text{К}_i, \text{Т}_{\text{ац}})-\text{У}_{i\text{п}}];\ \ \text{У}_i\,(\text{ПВ}_i, \text{К}_i, \text{Т}_{\text{ац}})<\text{У}_{i\text{п}};\ \ \mathrm{mes}\,(\text{ПВ}_i \to \text{А})=0. \end{aligned}\right\} \quad (14)$$

Этот критерий использован для автоматизации настройки пороговых значений.

Поиск из ряда фиксированных пороговых значений ($\text{У}^1_{i\text{п}},\ldots,\text{У}^i_{i\text{п}},\ldots,\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}$) необходимого значения $\text{У}_{i\text{п}}$, при котором обеспечивается принятый критерий настройки (14), можно осуществить автоматически путем совершения нескольких холостых ходов. Рассмотрим поиск необходимого порога $\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}$ для распознавания рабочих ходов оборудования при изготовлении деталей $\text{В}_{\text{м}}$ (см. рис. 2,б).

Порог устанавливается на низшем уровне $\text{У}^1_{i\text{п}}$. При совершении холостого хода ПВ_i появляется сигнал А, который переводит порог на более высокий уровень ($\text{У}^1_{i\text{п}} \to \text{У}^i_{i\text{п}}$). Осуществляется несколько холостых ходов и повышение уровня порога за каждый холостой ход до тех пор, пока очередной порог $\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}$ не окажется выше выходного параметра У_i **(**$\text{ПВ}_{\text{м}}, \text{К}_i, \text{Т}_{\text{ац}}$). При этом холостой ход $\text{ПВ}_{\text{м}}$ не вызовет появление сигнала и порог останется на уровне $\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}$, т.е. $\mathrm{mes}\,(\text{ПВ}_{\text{м}} \to \text{А}) = 0$. На этом режим настройки заканчивается и осуществляется проверка регистрации рабочего хода $\text{В}_{\text{м}}$ (режим регистрации), при котором осуществляется рабочий ход $\text{В}_{\text{м}}$ и появляется сигнал А : $\mathrm{mes}\,(\text{В}_{\text{м}} \to \text{А}) = 1$. Алгоритм поисковой настройки может быть описан следующей системой:

$$\left.\begin{aligned} &\qquad\qquad\qquad\textit{режим настройки:} \\ &\text{А}=\mathrm{sign}\,[\text{У}_i(\text{ПВ}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})-\text{У}^1_{i\text{п}}];\ \text{У}_i(\text{ПВ}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})>\text{У}^1_{i\text{п}};\ \mathrm{mes}\,(\text{ПВ}_{\text{м}} \to \text{А})=1 \\ &\qquad\qquad\qquad(\text{У}^1_{i\text{п}} \to \text{У}^i_{i\text{п}}) \\ &\text{А}=\mathrm{sign}\,[\text{У}_i(\text{ПВ}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})-\text{У}^i_{i\text{п}}];\ \text{У}_i(\text{ПВ}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})>\text{У}^i_{i\text{п}};\ \mathrm{mes}\,(\text{ПВ}_{\text{м}} \to \text{А})=1 \\ &\qquad\qquad\qquad(\text{У}^i_{i\text{п}} \to \text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}) \\ &\text{А}=\mathrm{sign}\,[\text{У}_i(\text{ПВ}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})-\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}];\ \text{У}_i(\text{ПВ}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})<\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}};\ \mathrm{mes}\,(\text{ПВ}_{\text{м}} \to \text{А})=0 \\ &\qquad\qquad\qquad(\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}} = \text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}) \\ &\qquad\qquad\qquad\textit{режим регистрации:} \\ &\text{А}=\mathrm{sign}\,[\text{У}_i(\text{В}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})-\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}}];\ \text{У}_i(\text{В}_{\text{м}},\text{К}_i,\text{Т}_{\text{ац}})>\text{У}^{\text{м}}_{i\text{п}};\ \mathrm{mes}\,(\text{В}_{\text{м}} \to \text{А}) = 1 \end{aligned}\right\} \quad (15)$$

Реализация алгоритма автоматизированной поисковой настройки осуществляется с помощью устройства (рис. 3), которое содержит: преобразователь 1; автоматический переключатель пороговых значений 2,

управляемый сигналами; пороговые элементы ($У^1_{iп}$, $У^i_{iп}$, $У^м_{iп}$) – 3; ручной переключатель 4 режимов: настройка и регистрация; регистратор 5 количества рабочих ходов оборудования.

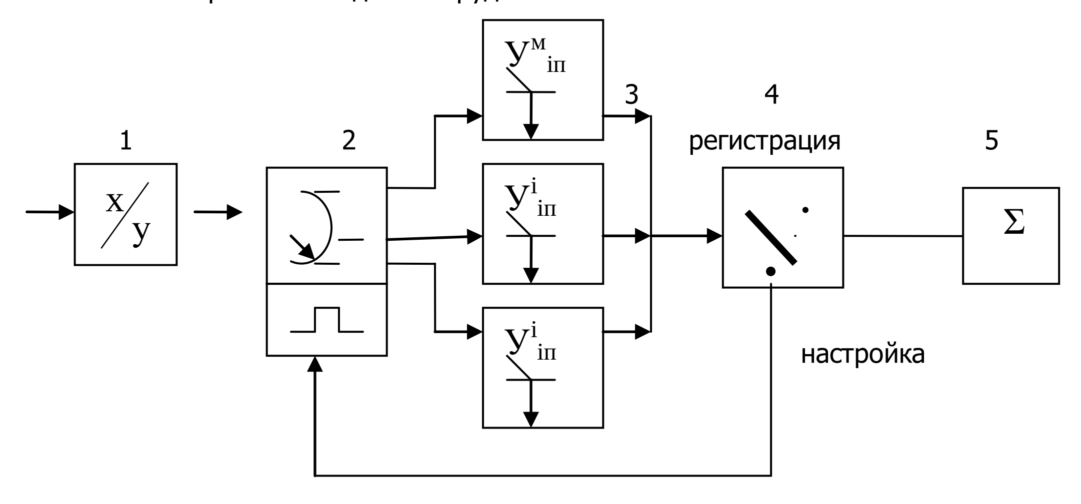


Рис.3. Структурная схема аппаратуры регистрации рабочих ходов оборудования с автоматическим поиском порога

Для сокращения времени поисковой настройки можно использовать алго-ритмы типа половинного деления. Однако добиться радикального сокращения времени настройки пороговых значений аппаратуры ресурсных испытаний можно осуществлением беспоисковой настройки. Для этого необходимо использовать критерий (14) и осуществить один холостой ход оборудования $ПВ_м$. При этом следует измерить значение выходного параметра $У_i\,(ПВ_м, К_i, Т_{ац})$ преобразователя, увеличить его на величину $(\Delta + \Delta\, У_i)$, запомнить новое значение выходного параметра и принять его за пороговое значение $У^м_{iп}$.

$$[У_i\,(ПВ_м, К_i, Т_{ац}) + \Delta + \Delta\, У_i] = У^м_{iп}\,. \tag{16}$$

Алгоритм такой беспоисковой настройки представлен следующей системой выражений:

$$\left.\begin{array}{l} \textit{режим настройки:} \\ [У_i\,(ПВ_м, К_i, Т_{ац}) + \Delta + \Delta\, У_i] = У^м_{iп} \\ A = \mathrm{sign}\ [У_i(ПВ_м, К_i, Т_{ац}) + \Delta + \Delta\, У_i - У^м_{iп}];\ У_i(ПВ_м, К_i, Т_{ац}) < У^м_{iп}\,; \\ \mathrm{mes}\ (ПВ_м \rightarrow A) = 0;\ (У^м_{iп} = У^м_{iп}) \\ \textit{режим регистрации:} \\ A = \mathrm{sign}\ [У_i(В_м, К_i, Т_{ац}) - У^м_{iп}];\ У_i(В_м, К_i, Т_{ац}) > У^м_{iп} \\ \mathrm{mes}\ (В_м \rightarrow A) = 1 \end{array}\right\} \tag{17}$$

Реализация алгоритма автоматизированной беспоисковой настройки пороговых значений аппаратуры ресурсных испытаний осуществляется с помощью устройства (рис. 4), структурная схема которого содержит: преобразователь 1; ручной переключатель 2 режимов: настройка и реги-

страция; элемент памяти 3; сравнивающее (пороговое) устройство 4; регистратор 5 количества рабочих ходов оборудования.

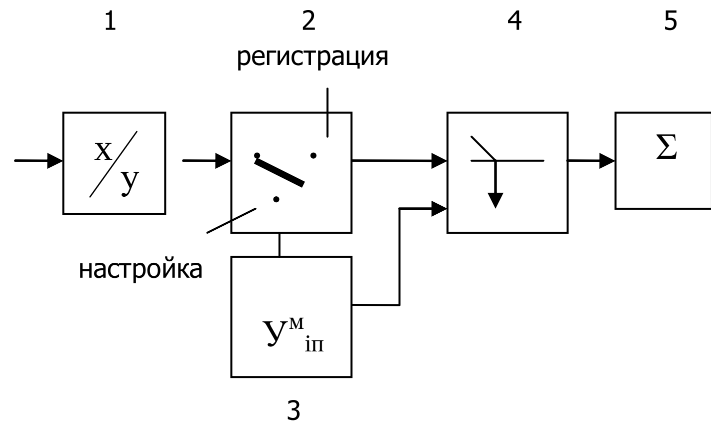


Рис. 4. Структурная схема аппаратуры регистрации рабочих ходов оборудования с беспоисковым изменением пороговых значений

Алгоритмы поисковой (15) и беспоисковой (17) настройки пороговых значений аппаратуры ресурсных испытаний могут быть реализованы с помощью микропроцессорных устройств.

Выводы. Разработанные критерии и алгоритмы автоматической настройки, использующие модели сигнала рабочего хода оборудования и общие принципы настройки пороговых устройств, выраженные в терминах теории множеств и математической логики, позволяют построить структурные схемы и уменьшить трудоемкость настройки аппаратуры ресурсных испытаний быстроизнашивающихся деталей производственного переналаживаемого оборудования.

Библиографический список

1. Рубанов В.В., Журавлев Л.А., Пономарев Ю.Н. Формирование модели сигнала рабочего хода оборудования при автоматизации испытаний быстроизнашивающихся деталей //Вестник ДГТУ. - 2001. –Т.1. - №2(8) . - с.95-103.

2. Рубанов В.В., Журавлев Л.А., Пономарев Ю,Н. Уменьшение ошибок распознавания рабочего хода при автоматизации испытаний быстроизна-шивающихся деталей производственного оборудования//Вестник ДГТУ. – 2002. – Т.2. - №2(12). - С. 111-118.

3. Рубанов В.В., Журавлев Л.А., Пономарев Ю.Н. Синтез вариантов моделей сигнала рабочего хода оборудования при его ресурсных испытаниях. //Вестник ДГТУ. - 2003. - Т.3. - №2(16). - С.145-154.

4. Рубанов В.В., Журавлев Л.А., Пономарев Ю.Н. Синтез структурных формул и схем устройств регистрации рабочего хода оборудования при ресурсных испытаниях //Вестник ДГТУ. – 2004. – Т.4. - №1(19). – С.84-91.

5. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. М.: Высшая школа, 1973. – 527 с.

6. Миленький А.В. Классификация сигналов в условиях неопределенности. – М.: Советское радио, 1975. – 328 с.

Материал поступил в редакцию 22.01.06.

V.RUBANOV, L.ZURAVLEV, U.PONOMAREV

AUTOMATION of ADJUSTMENT of the EQUIPMENT of RESOURCE TESTS ON the READJUSTED EQUIPMENT

The article describes the criteria and algorithms of the automated adjustment of the equipment of resource tests of quickwearing details of the industrial equipment.

РУБАНОВ Владилен Васильевич (р. 1939), заведующий кафедрой ,,Технология конструкционных материалов" Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1971), доктор технических наук (1990), профессор (1991), заслуженный работник высшей школы Российской Федерации (2001). Окончил РИСХМ (1961).
Научные интересы связаны с исследованием упрочнения и восстановления рабочих поверхностей деталей тяжелонагруженных пар трения индукционной наплавкой.
Автор более 150 научных трудов, 14 А.С. СССР и патентов Российской Федерации. Изобретатель СССР (1979). Среди его учеников 6 кандидатов и 2 доктора технических наук.

ЖУРАВЛЕВ Лев Александрович (р. 1933), профессор (1999) кафедры ,,Технология конструкционных материалов" Донского государственного технического университета, доктор технических наук (1983). Окончил РИИЖТ (1955) и ВЗИИТ (1961).
Научные интересы связаны с автоматизацией управления производственными процессами и ресурсными испытаниями.
Автор 200 научных трудов, 40 А.С. СССР. Изобретатель СССР. Награжден бронзовой (1972) и золотой (1977) медалями ВДНХ СССР. Среди его учеников 2 кандидата технических наук.

ПОНОМАРЕВ Юрий Николаевич (р 1942), доцент (1989) кафедры ,,Технология конструкционных материалов" Донского государственного технического университета, кандидат технических наук (1975). Окончил РИСХМ (1964).
Область научных интересов: антифрикционные и износостойкие металлические и неметаллические композиционные материалы.
Автор более 60 публикаций.